



ASTROPALMA

OBSERVATORIO DE TACANDE, LA PALMA

Joan Genebriera

LA ESPECTROSCOPIA A SU ALCANCE o el Star Analyzer.

notas de empleo, calculo y montaje versión 1.7

Atención: No apuntar jamás directamente al Sol.



Star Analyzer

Presentación

El Star Analyzer (SA) es una red de difracción a transmisión que contiene un gran número de líneas paralelas sobre una emulsión transparente, tantas como 100 líneas por mm. Todo ello montado sobre un anillo roscado tipo filtro de 1 ¼ pulgadas.

El SA produce un efecto de difracción que descompone la luz incidente en sus colores fundamentales y los concentra sobre unas franjas de colores, los llamados ordenes; $-n \dots -4, -3, -2, -1, 0, +1, +2, +3, +4 \dots +n$.

El orden cero es la luz directa que atraviesa el SA sin ser difractada, siendo los sucesivos ordenes $-n \dots -4, -3, -2, -1, +1, +2, +3, +4 \dots +n$ las imágenes espectro.

Nuestro orden de trabajo puede ser cualquiera, pero el SA esta optimizado para que el orden +1 sea el que puede concentrar más energía.

***Nota importante:** Con el SA se consigue observar los espectros de objetos puntuales y ver las principales líneas de algunos elementos químicos. Sin embargo este accesorio solo esta pensado como una iniciación a la espectroscopia astronómica y no es, ni tiene, las prestaciones de un espectrógrafo clásico.*

¿ Que telescopios podemos emplear con el SA ?

Es recomendable limitar la distancia focal a 1 m. aproximadamente, pero cualquier telescopio es valido a condición de que tenga movimiento ecuatorial con un seguimiento correcto durante unos pocos minutos y movimientos lentos en ambos sentidos: ascensión resta y declinación.

¿ Que detectores podemos emplear con el SA ?

- 1.- Oculares y nuestro ojo.
- 2.- Cámaras CCD (B/N) para Astronomía
- 3.- Cámaras webcam (color)
- 4.- Cámaras DSLR (color)

***Atención:** En los casos 2, 3, 4 hay que procurar que el SA este orientado de forma que la dirección de dispersión, coincida con el eje mayor (x) de la cámara. En la observación visual es opcional. Para más información ver las instrucciones de montaje del SA*

Oculares



SA roscado delante de un ocular Nagler de 9 mm.

Para una observación visual directa es recomendable el empleo de oculares de corta distancia focal, sobre unos 10 mm. El número de órdenes que podemos observar es proporcional a la longitud focal del ocular. A más focal más ordenes y menos detalle, a menos focal menos ordenes y más detalle.

Con un telescopio a F/6,5 y un ocular de 9 mm. se aprecian un mínimo de 2 órdenes de difracción.

Cámaras CCD (B/N)



Cámara CCD SXV-H9

Cuando obtenemos un espectro empleando una cámara CCD (B/N) es esencial concentrar el máximo de energía sobre unos pocos píxeles con el fin de obtener una relación señal/ruido (S/N) lo más alta posible y conseguir la magnitud limite que nos ofrece el conjunto telescopio/cámara.

Es recomendable tener orientado el eje de dispersión del SA sobre el eje (x) de la cámara coincidiendo con el eje de Ascensión Recta de la imagen. De forma que las imágenes de orden 0 tienen la misma orientación que las que tenemos en los programas tipo TheSky, Carte du Ciel. etc, lo que facilita la identificación del campo.

Los mejores resultados para espectroscopia se obtienen con cámaras (B/N)

Cámara del tipo webcam (color)



Webcam modificada con un tubo adaptador de 1 ¼ pulgadas y el SA roscado en el tubo.

Debemos procurar que el tubo adaptador no sea muy largo, de lo contrario y a causa de la pequeñez del chip de imagen, no será visible al mismo tiempo el espectro de orden 0 y el orden el +1 (y nos resultara difícil identificar el campo)

Si es necesario puede inclinarse 45 grados el SA para que la dirección de dispersión coincida con la diagonal del CCD y conseguir que el espectro no este recortado (el espectro estará en diagonal).

Cámara DSLR (Canon 350D)



La imagen anterior muestra el conjunto completo de SA y prisma, montados sobre un tapón de aluminio y este sobre un adaptador de 2" a rosca T2. La cámara, una Canon 350D, tiene un anillo adaptador de bayoneta Canon a rosca T2.

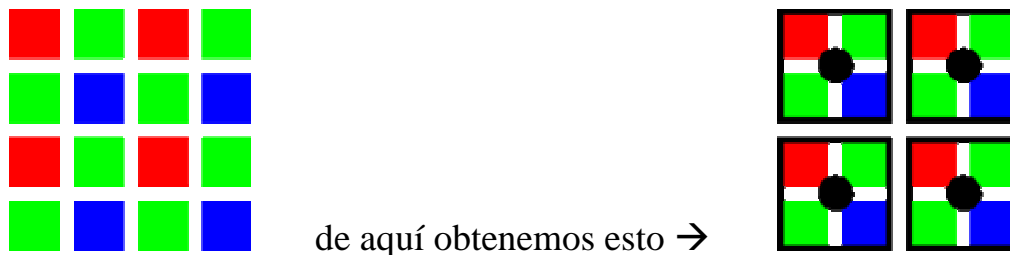
Estas cámaras tienen la ventaja de que poseen un chip CMOS de dimensiones generosas, lo que permite montar el SA sobre un tubo adaptador más largo y por tanto proporcionan una mayor longitud de los espectros, tal como se explica en el apartado siguiente de “Notas de Cálculo”

Sobre el tema que comentamos que la dirección de dispersión debe orientarse sobre el eje (x) de la cámara, lo dejamos a criterio del observador en las DSLR a causa del siguiente problema.....

“La Bayerización”

Es un efecto que puede perjudicarnos en cámaras de color que usan una matriz de Bayer (la mayoría de las DSLR lo emplean).

Estas cámaras tienen una máscara de color sobre la matriz de píxeles de modo que un punto de color (RGB) en la imagen se forma por interpolación y cálculo en el microprocesador de la cámara, de 4 píxeles: 1 rojo, 2 Verdes, 1 Azul lo que se llama un “super píxel” RGGB.



Esto quiere decir que una cámara en color trabaja con una pérdida importante de resolución con imágenes monocromáticas. Solo tiene un 25% en el rojo y el azul y un 50 % de resolución espacial en el verde. En cierta forma las imágenes de un espectrógrafo pueden considerarse monocromas puesto que se trata de una serie de colores individuales en un segmento de pocos píxeles de altura.

El dilema es el siguiente: Si trabajamos sobre lo que en principio parece lo correcto: imágenes raw puras, ejemplo: imágenes tomadas con el Maxim DL de formato *.fits en B/N, el procesador de la cámara está desactivado y recibimos la información individual de cada píxel sin interpolación, lo que quiere decir que además de la anterior pérdida de resolución tenemos ruido causado por los píxeles inactivos adjuntos.

Por otro lado; si trabajamos sobre las imágenes raw propietarias de Canon, las *.CR2 (que tienen un cierto grado de proceso RGB) no tenemos ruido de píxeles inactivos pero si la pérdida del 25% de resolución, además siempre debemos convertir las *.CR2 (color) a formato *.fit (B/N) para que el software de espectroscopia Vspec las reconozca.

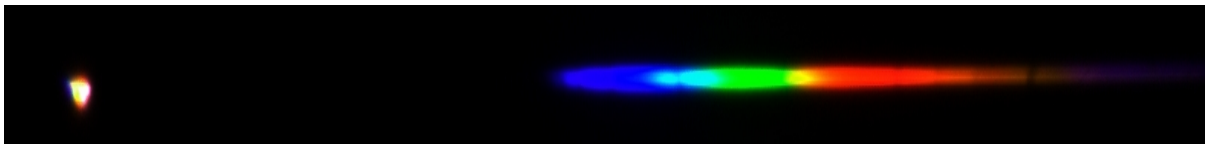
Y en ambos casos tenemos variaciones de ganancia en la transición de un color a otro en la máscara. Podemos observar este efecto si obtenemos una imagen de un campo de estrellas en un telescopio sin seguimiento y sin SA.



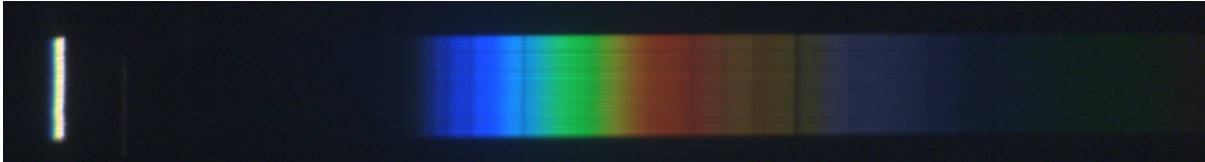
“Bayerización” observada sobre una cámara en color y estrellas

La recomendación para cámaras en color

La recomendación suponiendo que la relación S/N de la estrella lo permita, consiste en iniciar una deriva perpendicular a la dispersión durante la toma del espectro por medio de los movimientos lentos de la montura, con el fin de conseguir que el espectro “caiga” sobre múltiples píxeles RGB y evitar la “Bayerización”. Así obtendremos una cinta de espectros en lugar de una línea delgada. ¡Atención! la deriva debe ser muy uniforme y sin saltos.



Espectro sin deriva.



Espectro con deriva

(crédito Christian Buil)

Si la estrella es muy brillante también podemos desenfocar ligeramente para evitar la bayerización.

Resumen

- 1.- La dirección de dispersión siempre debe estar sobre el eje mayor de la cámara.
- 2.- Derivar “continuamente” el movimiento del telescopio en dirección perpendicular a la dispersión durante toda la exposición.
- 3.- Procurar no saturar el espectro.

Obtención de Espectros

En los espectros suele observarse una parte de espectro continuo (como un arco iris) y una serie de líneas que pueden ser oscuras o brillantes, dependiendo del objeto, llamadas de absorción o emisión respectivamente.

Longitudes de onda en \AA (1 \AA = 10 nm) de algunas líneas espectrales útiles con indicación del elemento que las produce:

3933,700 Ca II
3968,500 Ca II
3970,072 H epsilon
4101,400 H delta
4340,470 H gamma
4861,300 H beta
5006,88 O III
5889,950 NaI
5895,924 NaI
6562,852 H alfa

De todas las posibles líneas que podemos observar empleando el SA, la más prominente en estrellas de clase espectral A, F y G es la del Hidrogeno Alfa a 6562 \AA . Se encuentra en la zona roja del espectro y es normalmente una línea muy oscura de absorción.

Pero atención, para estrellas azules del tipo B, la línea más prominente es la H-beta a 4861 Ångstrom en la zona azul del espectro.

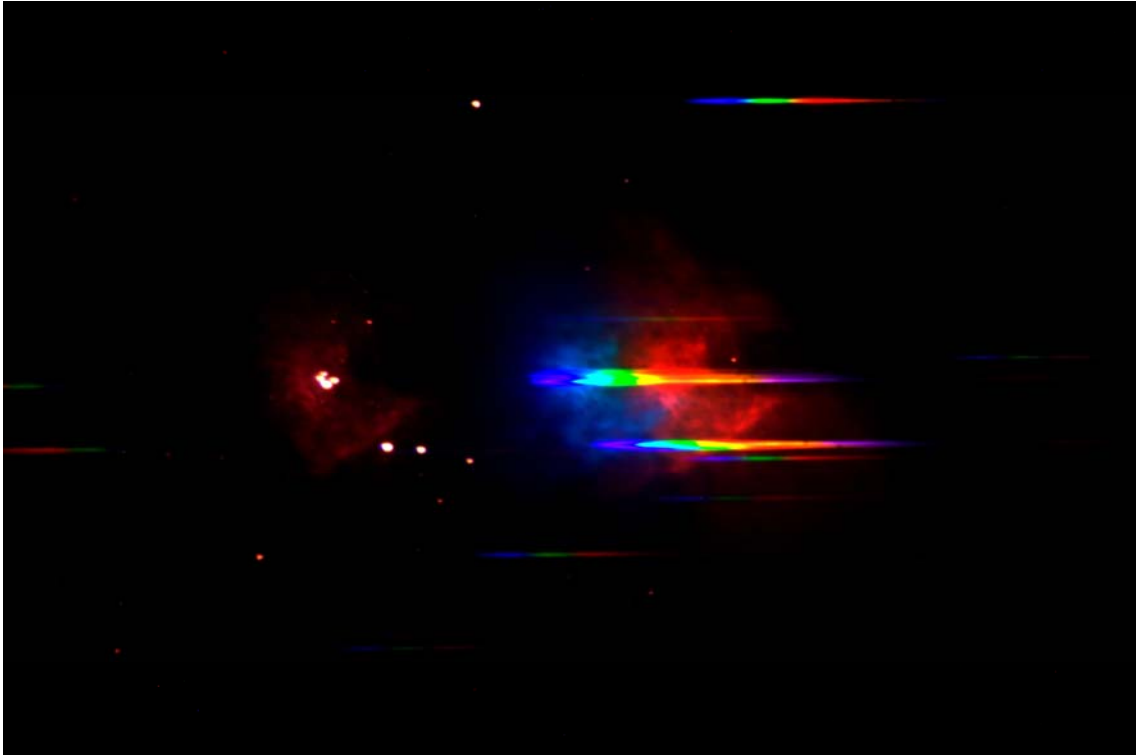
Para calibrar los espectros en longitud de onda y en respuesta instrumental lo más indicado es obtener espectros de referencia de estrellas de clase A (Vega, Sirio, Deneb, etc). ya que en estas estrellas la serie de Balmer del Hidrogeno es sumamente fuerte.

Debemos tener en cuenta que al no emplear como en los espectroscopios clásicos una rendija, la resolución de las líneas dependen del diámetro aparente del objeto, es decir que los objetos como: luna, planetas, grandes cometas, etc. solo producen una banda coloreada de espectro continuo, sin líneas, como vemos en la imagen siguiente.

Es por tanto posible obtener espectros delgados con definición de líneas sobre objetos puntuales (estrellas), pero siempre debemos emplear tiempos de exposición que no saturen el espectro.



Imagen que muestra el orden de difracción cero (estrellas, el cometa 17P/Holmes) y sus espectros de orden 0, +1. Telescopio a F/6,5 y cámara Canon 350D modificada.



El Trapecio y la nebulosa de Orión (M42).

La nebulosa M42 solo emite en unas pocas longitudes de onda. No es un emisor térmico (no tiene espectro continuo), por lo que en este caso particular solo obtenemos dos imágenes, una azul que corresponde al OIII a 5006 Ångstrom y otra roja de H-alfa a 6562 Ångstrom, que se corresponden con las dos principales longitudes de onda que emite este objeto. La integración fue de 30 seg. en un telescopio a F/6,5 y una cámara Canon 350D modificada.



Alfa Canis Major (Sirius), clase espectral A0. Se observan los espectros de orden 0, +1 Integración de 1/10 seg. en un telescopio a F/6,5 y cámara Canon 350D modificada (sin filtro IR)



Alfa Taurus (Aldebaran), clase espectral K5. Integración de 1/5 seg, sobre la misma cámara y condiciones anteriores.

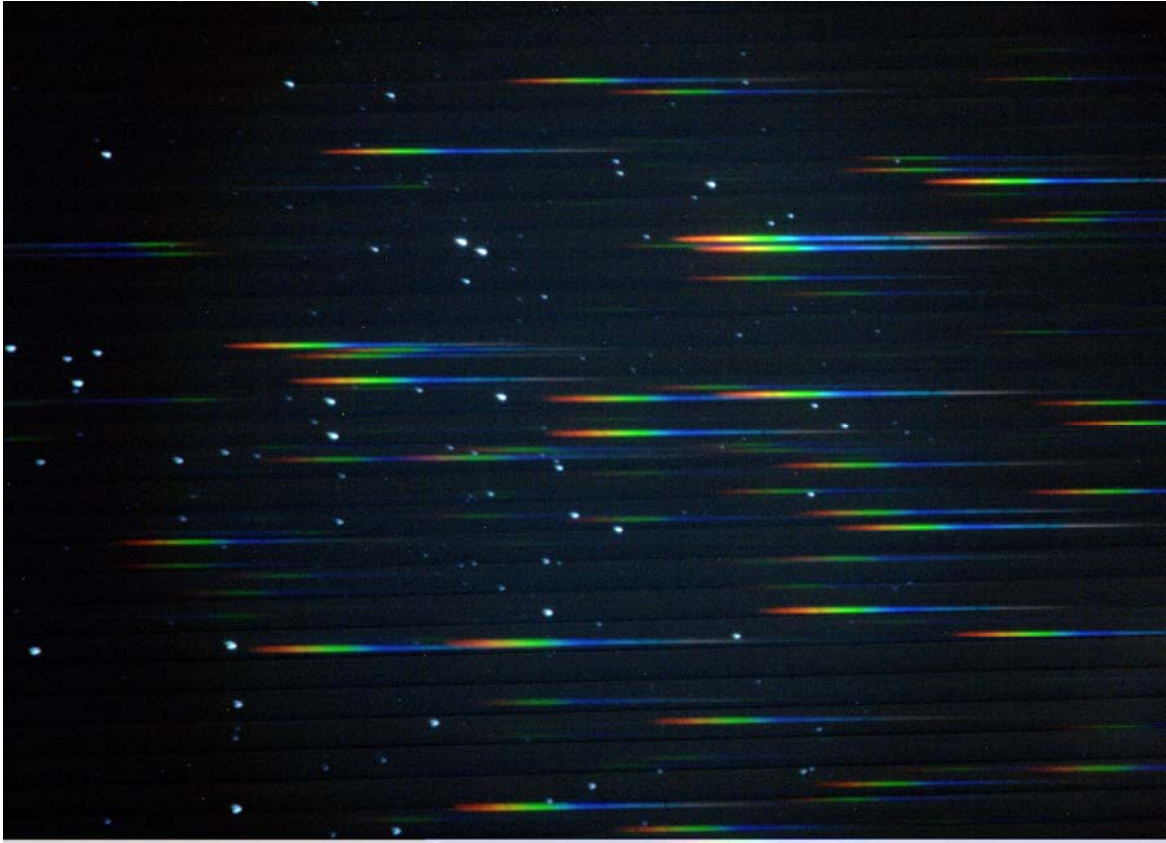


Imagen del cúmulo NGC 1647 donde se aprecian variedad de líneas de absorción. Integración de 180 seg. sobre la misma cámara y condiciones anteriores.

¿Que software podemos emplear para adquisición y proceso de datos?

IRIS

An astronomical images processing software

<http://www.astrosurf.com/buil/us/iris/iris.htm>

es freeware (gratis)

Maxim DL/DSLR

http://www.cyanogen.com/products/maxim_main.htm

este software es de pago

Astroart

<http://www.msb-astroart.com/>
este software es de pago

¿Que software podemos emplear para Espectroscopia ?

Visual Spec

<http://astrosurf.com/vdesnoux/>
es freeware (gratis)

Todos los anteriores programas tienen un excelente apartado de texto donde se incluyen ejercicios y aprendizaje (tutorías)

Análisis de la imagen

1.- Con los programas Maxim DL o IRIS podemos obtener las imágenes en formato (*.fit). Si empleamos una cámara Canon, obtendremos el formato (*.CR2) con el software original de Canon (ZoomBrowser, opción de remote capture). Tener en cuenta que hay que restar la corriente oscura.

Atención: En cámaras DSLR sin cable disparador, el tiempo máximo de exposición suele estar limitado a 30 seg. Con un cable disparador especial conectado a un puerto serie (o a un puerto USB con conversor) es posible ampliar el tiempo todo lo que uno desee.

2.- Empleando un programa de tratamiento de imágenes astronómicas (IRIS, Maxim DL/DSLR, Astroart, etc) convertir la imagen a formato “fit” y hacer un “crop” aproximado de 1000x50 pixels, sobre la imagen espectro de orden +1

3.- Emplear la opción “rotate” y girar la imagen para conseguir que el espectro sea totalmente horizontal.

4.- Analizar el espectro con el software especial de espectroscopia Vspec

*Atención: el Vspec solo admite imágenes de formatos *.fit o *.pic que no tengan más de 32.000 ADU's*

Notas de aplicación del Vspec (breve tutorial)

- EN CONSTRUCCIÓN -

Notas de cálculo (para Canon 350D)

Estas notas son necesarias para conocer la posición de las líneas en los espectros, sin estos datos puede ser muy difícil su identificación.

Atención, si introducimos un prisma la dispersión del SA deja de ser lineal y el espectro tiene las características combinadas de un “grism”, por lo que las siguientes ecuaciones son solo aproximadas.

Si suponemos un ángulo de incidencia de la luz normal al StarAnalyzer y una banda útil de trabajo de 4000 a 8000 Ångstrom (de 0,4 a 0,8 micras, 1 micra= 10^{-3} mm), el ángulo de difracción (beta) que tendremos en los dos extremos de la banda es igual a.....

***Nota:** En una cámara Canon 350D modificada, la banda útil en el extremo IR del espectro puede llegar hasta 9000 Ångstrom, lo que resulta excelente para espectroscopia, aunque es posible que las ópticas normales tengan aberraciones importantes en esa longitud de onda.*

$$\text{sen } \beta(\text{azul}) = m * a * \lambda = (+1) * 100 * 0,4 * 10^{-3} = 0,04$$
$$\beta = 2,29^\circ$$

$$\text{sen } \beta(\text{rojo}) = m * a * \lambda = (+1) * 100 * 0,8 * 10^{-3} = 0,08$$
$$\beta = 4,58^\circ$$

El abanico angular de desviación será de.... $4,58 - 2,29 = 2,30^\circ$ aprox.

Siendo los anteriores parámetros:

- beta = ángulo de difracción de la red (grados)
- m= orden de difracción
- a= constante de la red (líneas/mm)
- d= distancia de la red al CCD (mm)
- lambda= longitud de onda (micras)

***Nota:** En la Canon 350D empleada en este trabajo, el CCD se encuentra a 43,5 mm. aprox. del frente de la cámara, el anillo adaptador de bayoneta a rosca T tiene un espesor de 11 mm, la longitud del tubo adaptador de 2 “ es de 50 mm. (puede variar en otras cámaras y/o tubos). La distancia total es pues de..... ..*

$$43,5 + 11 + 50 = 104,5 \text{ mm.}$$

La Canon 350D tiene un detector CMOS de 22,2 x 14,8 mm. y un tamaño de píxel de 6,42 μm. La distancia en mm desde el orden 0 (no difractado) hasta el principio de banda útil en orden +1 deberá ser en el azul....

(tan beta(azul)) * d = tan 2,29 * 104,5 = 4,17 mm (649 píxeles)
y en el rojo.....

(tan beta(rojo)) * d = tan 4,58 * 104,5 = 8,37 mm (1303 píxeles)

la longitud del espectro desde 4000 a 8000 Ångstrom nos producirá una banda de 8,37 - 4,17 = 4,20 mm (654 píxeles) de longitud sobre el detector CMOS de nuestra cámara.

Nota: Queda claro para todos que una forma de aumentar la longitud del espectro es aumentando la distancia de proyección entre el SA y el CCD. Pero atención ¡ se produce viñeteo en los bordes del campo !

La escala (P) Ångstrom por mm. será
(8000 - 4000) / (8,37 - 4,17) = 952,3 A/mm

y la escala Ångstrom por píxel.....
(8000 - 4000)/ 654 = 6,11 A/píxel

En la parte central del espectro visible a 5500 Ångstrom el ángulo de difracción (beta) es.....

sen beta(a) = m * a * lambda = (+1) * 100 * 0,55 * 10⁻³ = 0,055 b = 3,15°

Empleando un software de tratamiento de imagen, podemos localizar las principales líneas desde el orden 0 contando los píxeles...

La distancia a la que debemos encontrar la línea H-alfa será...

6562,852 H alfa

$$649 + (6562,8 - 4000) / 6,11 = 525 \text{ píxeles}$$

La distancia a la que debemos encontrar la línea O III será...

5006,88 O III

$$649 + (5006,8 - 4000) / 6,11 = 271 \text{ píxeles}$$

La distancia a la que debemos encontrar la línea H-beta será...

4861,300 H beta

$$649 + (4861,3 - 4000) / 6,11 = 247 \text{ píxeles}$$

La distancia a la que debemos encontrar la línea H-gamma será...
4340,470 H gamma

$$649 + (4340,4 - 4000) / 6,11 = 162 \text{ píxeles}$$

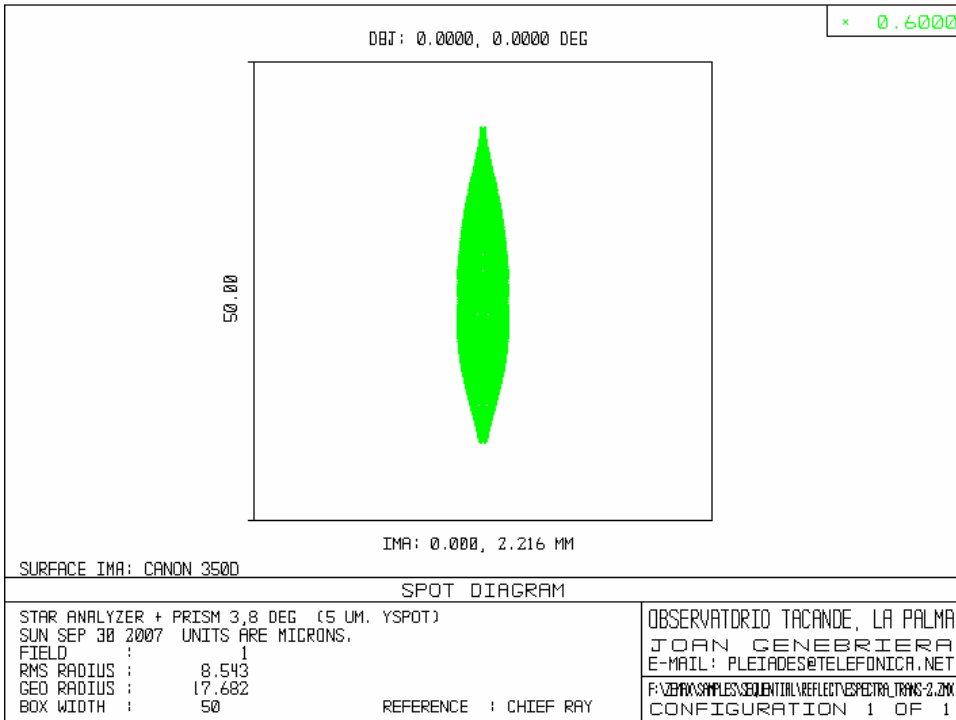
Instrucciones de montaje del anillo adaptador para el StarAnalyzer y el prisma

A causa de que las piezas del SA, prisma y anillo adaptador, se envían o adquieren sin ensamblar debemos acoplarlas siguiendo las siguientes instrucciones.

***ATENCIÓN:** El prisma puede ser también pegado al Star Analyzer, pero es una operación delicada para la integridad de ambas piezas, quien lo haga es bajo su responsabilidad.*

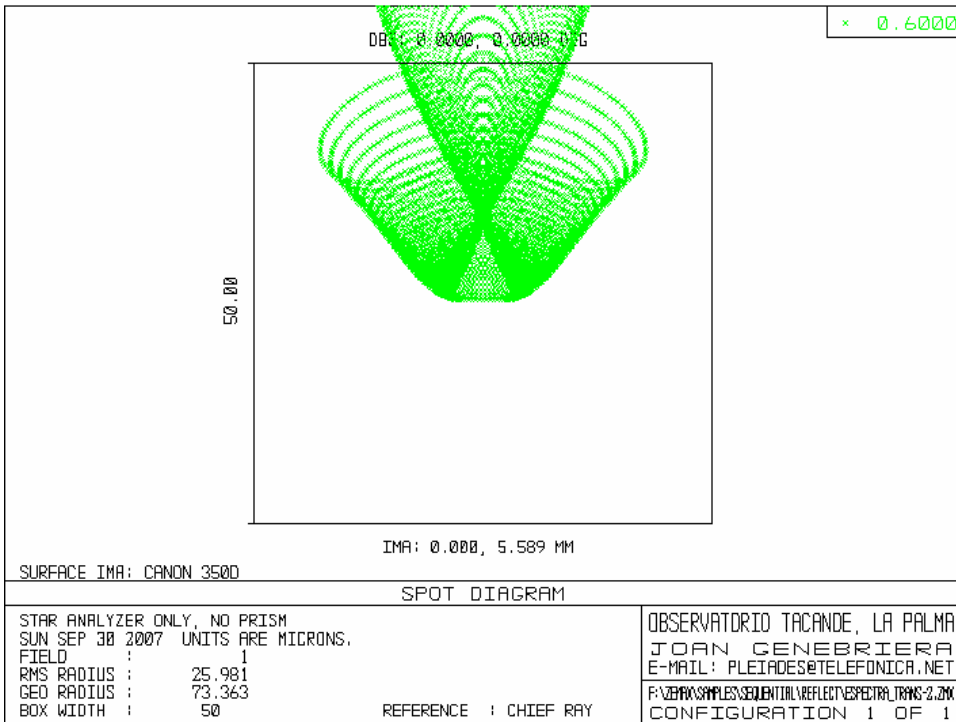
¿ Porque es recomendable combinar el SA con un prisma ?

El objetivo de esta operación es combinar las propiedades de la red de difracción y el prisma, para obtener espectros más nítidos que con el simple uso de la red (SA). A continuación presentamos el análisis óptico de la anterior afirmación.



Tamaño y forma de una línea con el SA+ prisma.

En el que se observa como se concentra la luz sobre el plano focal y en el que resulta evidente que con el prisma se consigue menos aberraciones y mayor energía luminosa por unidad de área.



Tamaño y forma de línea con el SA sin prisma.

Necesitamos disponer del StarAnalyzer (SA), el prisma, el anillo adaptador, un puntero láser, un par de pinzas de tender, una folio de papel que nos servirá de pantalla de proyección, unos guantes limpios y unos libros. ¡ Todo sobre una mesa limpia !

Montaje

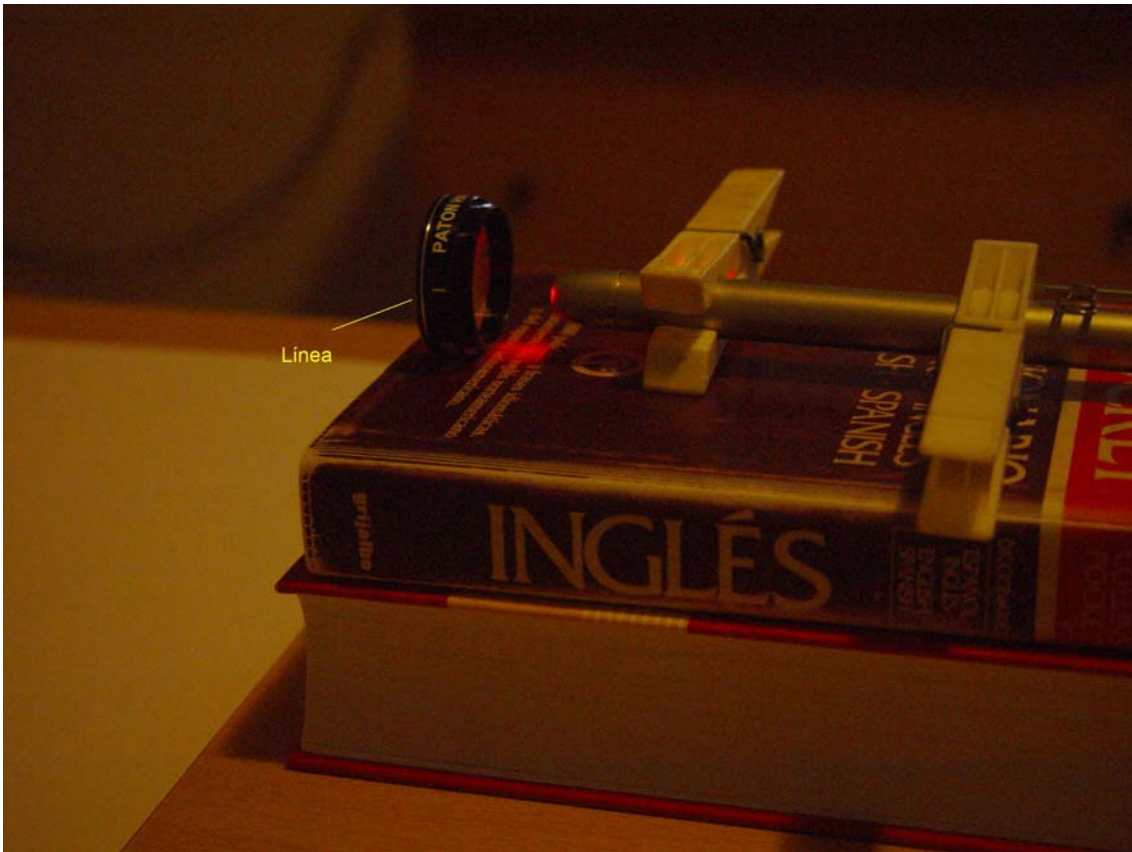


Elementos necesarios para el montaje.

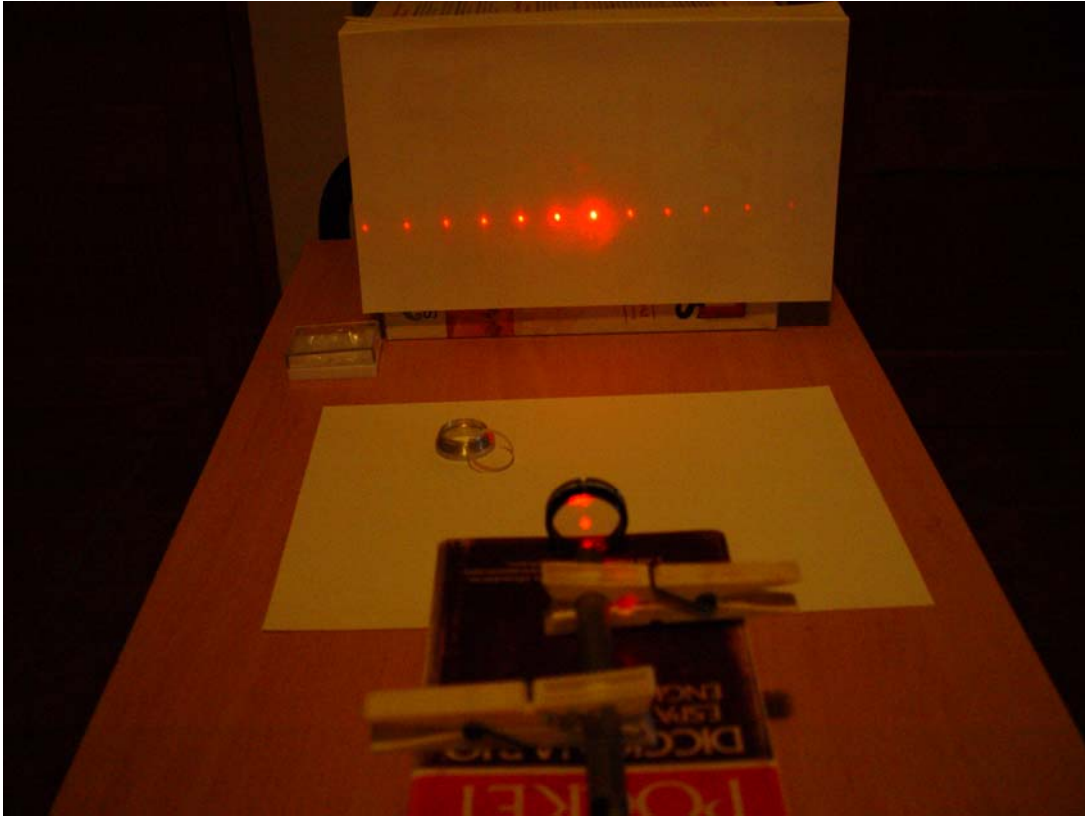
Sujetar el puntero láser con las dos pinzas para que no se mueva y situar el SA de frente, de forma que la rosca apunte hacia la pantalla de proyección (lado opuesto del láser). Girar el SA hasta que la línea blanca* se vea tal como esta en la foto.

¡ Cuidado de que el SA no ruede fuera del libro y se caiga !

La línea blanca indica la dirección de dispersión del SA.



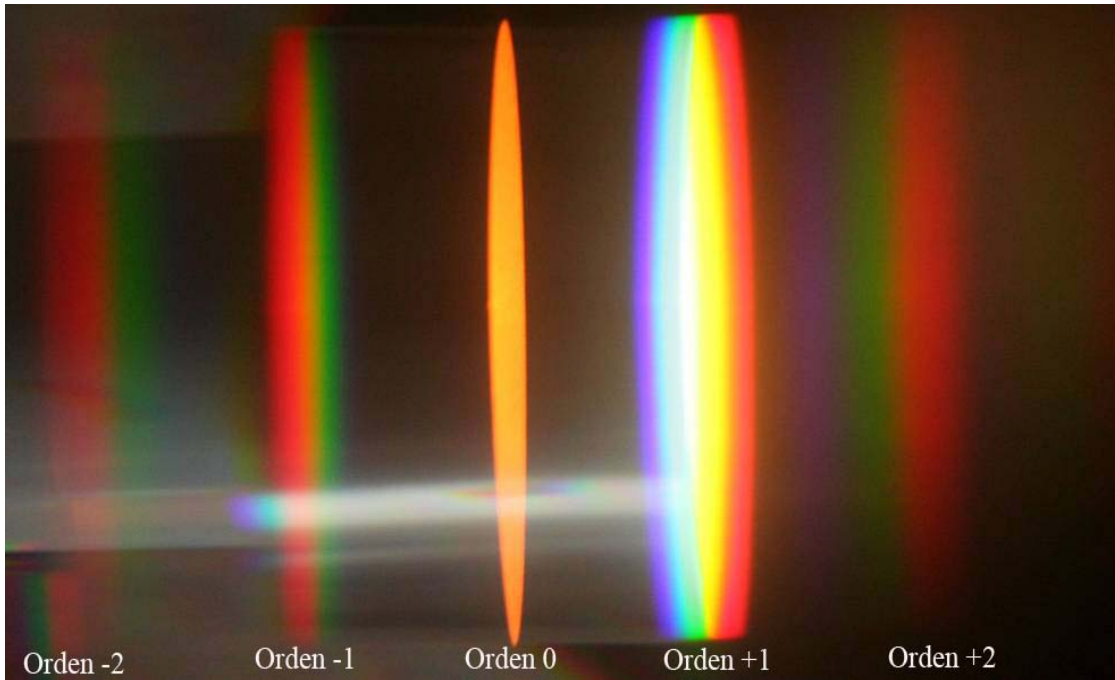
Sujetar un folio de papel sobre una caja a modo de pantalla de proyección y activar de forma permanente el puntero con una gomilla, clip, etc.



Veremos la proyección de una serie de puntos que son las imágenes de difracción del láser. En el centro son más brillantes y decrecen lentamente a ambos lados. Si la línea blanca del SA esta como se indico anteriormente, la serie de la izquierda debe ser más brillante que la de la derecha.

Los dos puntos más brillantes son: el orden cero (la luz que atraviesa el SA sin difractar) y el orden +1. Este último es el más brillante de todos en la foto y el que emplearemos para analizar los espectros.

Si empleáramos una fuente de luz blanca en lugar de un láser y una rendija vertical, podríamos obtener la siguiente imagen con nuestra cámara



Ahora con mucho cuidado empleando guantes de látex y una regla graduada debemos determinar donde se encuentra el espesor máximo de la cuña que forma el prisma y poner un pedacito de papel adhesivo para marcar ese punto, sobre la cara externa del prisma.

Esto no perjudica en nada al prisma y es necesario para asegurar que al poner la cara plana del prisma en contacto con el SA, el espesor máximo del prisma coincida con la línea blanca marcada en el SA.



Prisma (cuña prismática)

Introducir despacio y con mucho cuidado el prisma en el interior del anillo de adaptación ; Atención con el borde del anillo, es muy delgado y afilado, puede romperse o cortarnos !

Ahora debemos roscar el anillo adaptador sobre el SA de forma que el pedacito de papel que tenemos sobre el prisma coincida con la línea blanca marcada en el SA. Si es necesario, poner con cuidado un dedo (con guantes) sobre el prisma para evitar que al roscar se desplace el prisma de esa posición. ; No apretar demasiado la rosca !

Retirar el pedacito de papel y limpiar el prisma con algodón y alcohol.

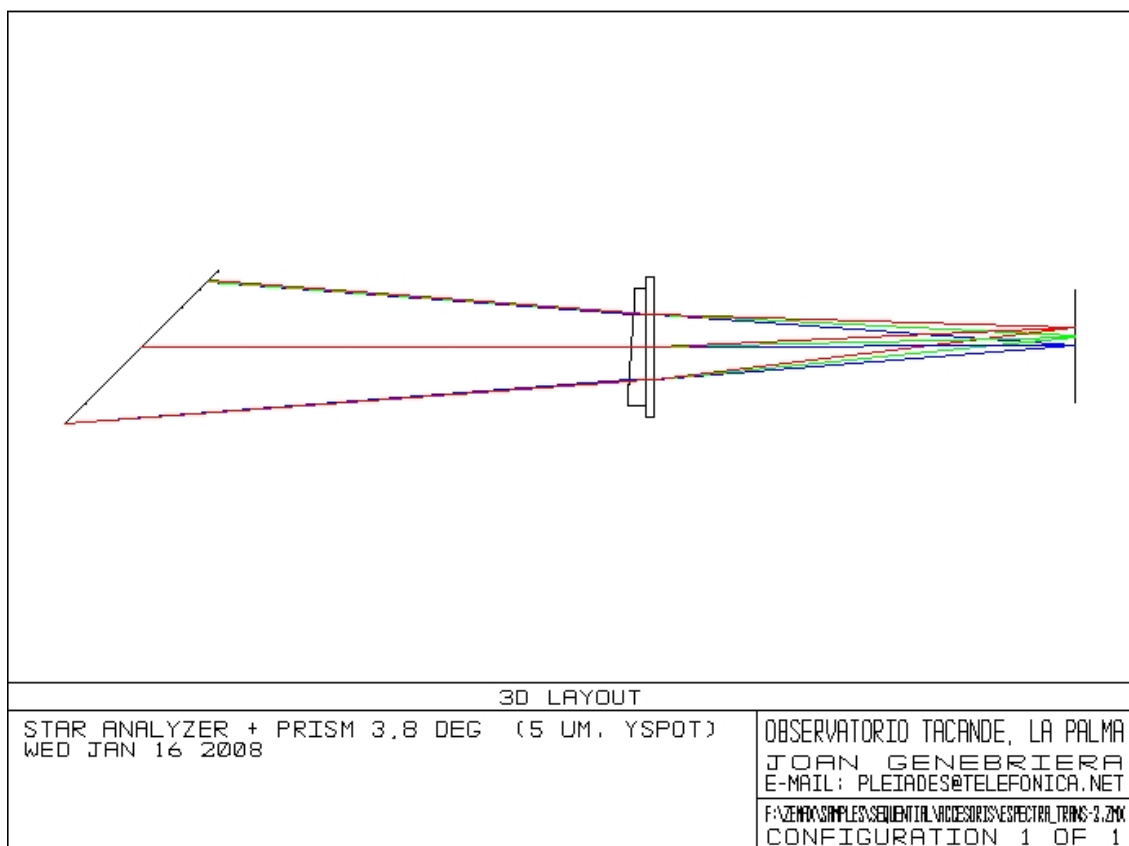


Diagrama óptico del prisma y el SA, visto desde arriba. La luz viene por la izquierda y los espectros se forman a la derecha sobre el plano focal.

Roscar el SA y el prisma en nuestra cámara DSLR y enfocar en el telescopio para obtener nítidamente los espectros simultáneos de todo el campo.

Lo normal es que al tomar imágenes de un campo estelar, los espectros no aparezcan totalmente horizontales, para conseguir que sea así, debemos aflojar los tres tornillos de relojería del anillo adaptador de la bayoneta Canon a rosca T2 y girar la cámara (mientras el adaptador de 2" y el SA esta fijos) hasta conseguir la mejor horizontal posible, apretando a continuación los tres tornillos.

Este ajuste si no se cambia de cámara ni de accesorios solo hay que hacerlo una vez.

¡ Que lo disfruten !

Se ruega citar el origen para su reproducción parcial o total. Gracias.

Joan Genebriera, Observatorio de Tacande